

従来の後方散乱係数 (Back Scatter Factor, 以下 BSF と記す) の取得法は、Fig.1 に示すような横軸を正方形照射野に一片長(または円形照射野の半径)、縦軸を BSF とし、X線束のアルミニウム半価層をパラメータとしたグラフデータを基にして、実際の照射野形状から換算した等価正方形 (または等価円) および実測半価層に対応する BSF を求める方法が用いられてきた。この BSF 取得法の問題点およびその解決法を以下に述べる。

問題点 (1)

Fig.2 に示すように、半価層が同じであっても、管電圧などにより X線スペクトルが異なる場合、BSF 値に差異が生じる(文献 1)。したがって、半価層のみをパラメータとしたグラフデータを基にして求めた対象 X線束に対応する BSF の正確性は担保されない。

問題点 (2)

グラフから BSF 値を読み取る際、内挿 (ほとんどが目分量) に起因する不確実性が生じる。

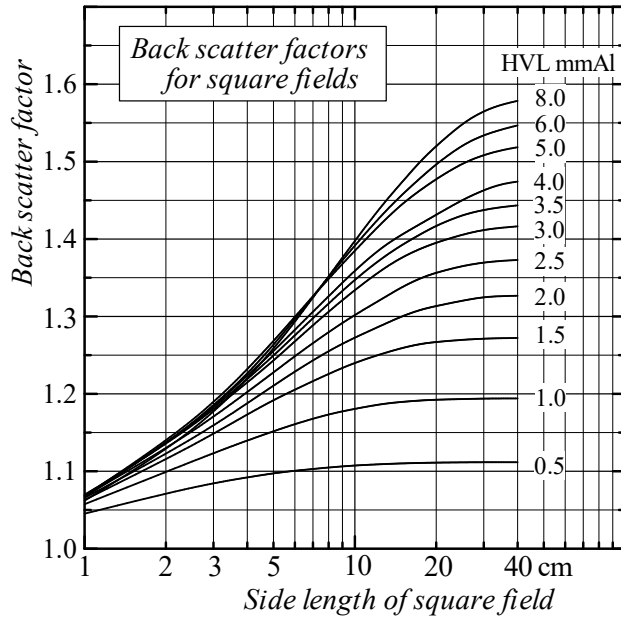


Fig.1

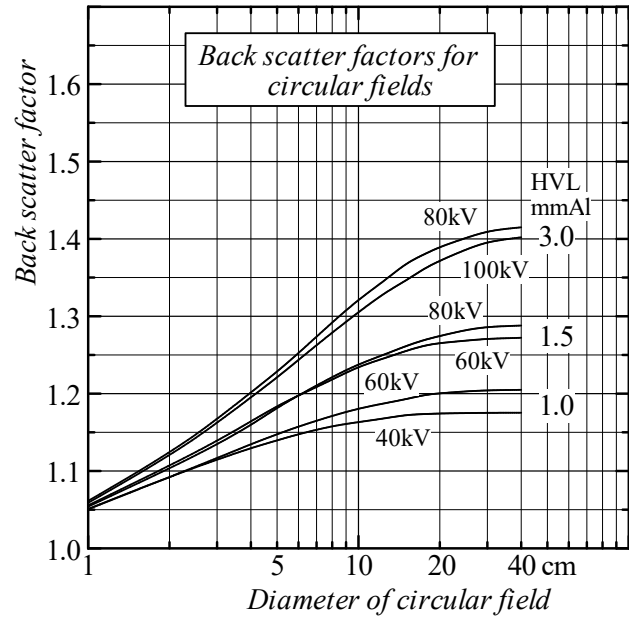


Fig.2

以上に述べた問題点(1), (2) を考えると、BSF を取得するには Fig.1 に示すようなグラフデータを用いるべきではない。

一方、筆者が提案している“微分後方散乱係数法”(文献 1) は任意の X線束(X線スペクトル)、任意の照射野形状に対する BSF を算出することができ、問題点 (1), (2) を一挙に解決できる。

問題点 (3)

Fig.1 で示したようなグラフ形式の BSF データは幾つか報告されているが、それらはすべて“水吸収線量”を基にして、計算等で得られた数値をグラフ化したものである。

しかし、例えば、診断参考レベル (DRLs) の一般撮影で定義されている“入射表面における後方散乱線を含む空気カーマ”を算出する時に、これらのデータ(水吸収線量に基づく BSF)を用いることは理論的に間違っている。以下にその間違いを記す。

水吸収線量を基にした  $BSF_w$  は次式で表される。

$$BSF_w = \frac{D_{w,p} + D_{w,s}}{D_{w,p}}$$

ここで  $D_{w,p}$  : 入射表面の線束中心における一次線光子束による水吸収線量

$D_{w,s}$  : 入射表面の線束中心における被射体からの後方散乱光子束による水吸収線量

$D_{w,p}$  ,  $D_{w,s}$  は、入射表面に設置した検出器に入射する各エネルギー光子のエネルギーフルエンスに、その光子エネルギーに対応する水の質量エネルギー吸収係数を乗じた数値を、それぞれ一次線スペクトル、散乱線スペクトルに基づき、光子エネルギーについて積算して求めることができる。

一般撮影の DRL は上述したように、“入射表面線束中心における後方散乱線を含む空気カーマ”  $K_{a,p}+K_{a,s}$  と定義されており、空中での一次線空気カーマ  $K_{a,p}$  を実測し、それに BSF を乗じて算出される。しかし、この  $K_{a,p}$  に現在一般的に行われている上記の水吸収線量に基づく  $BSF_w$  を乗じると、次式に示すように正しく  $K_{a,p}+K_{a,s}$  を算出できない。

$$K_{a,p} \times BSF_w = K_{a,p} \times \frac{D_{w,p} + D_{w,s}}{D_{w,p}} = K_{a,p} + D_{w,s} \times \frac{K_{a,p}}{D_{w,p}} \neq K_{a,p} + K_{a,s}$$

$K_{a,p}+K_{a,s}$  を正しく算出するためには、次式のような“空気カーマ”に基づいた後方散乱係数  $BSF_{Ka}$  を用いる必要がある。

$$BSF_{Ka} = \frac{K_{a,p} + K_{a,s}}{K_{a,p}}$$

ここで  $K_{a,p}$  : 入射表面の線束中心における一次線光子束による空気カーマ

$K_{a,s}$  : 入射表面の線束中心における被射体からの後方散乱光子束による空気カーマ

$K_{a,p}$  ,  $K_{a,s}$  は、入射表面に設置したカウンターに入射する各エネルギー光子のエネルギーフルエンスに、その光子エネルギーに対応する空気の質量エネルギー転移係数を乗じたものを、それぞれ一次線スペクトル、散乱線スペクトルに基づき、光子エネルギーについて積算して求めることができる。

実測した空中での一次線空気カーマ  $K_{a,p}$  に  $BSF_{Ka}$  を乗じると、

$$K_{a,p} \times BSF_{Ka} = K_{a,p} \times \frac{K_{a,p} + K_{a,s}}{K_{a,p}} = K_{a,p} + K_{a,s}$$

DRL で定義されている“入射表面線束中心における後方散乱線を含む空気カーマ”  $K_{a,p}+K_{a,s}$  が算出できる。

同様に、入射皮膚線量  $D_{skin} (=D_{skin,p}+D_{skin,s})$  を算出する場合、実測した空中における一次線空気カーマ  $K_{a,p}$  を X 線スペクトルに基づいた方法 (文献 2 を参照) を用いて皮膚組織吸収線量  $D_{skin,p}$  に変換し、次式に示す“皮膚組織吸収線量に基づいた  $BSF_{skin}$  を乗じることにより、入射皮膚線量を理論的に正しく得ることができる。

$$BSF_{Skin} = \frac{D_{skin,p} + D_{skin,s}}{D_{skin,p}}$$

$$K_{a,p} \times Cf \times BSF_{skin} = D_{skin,p} \times \frac{D_{skin,p} + D_{skin,s}}{D_{skin,p}} = D_{skin,p} + D_{skin,s}$$

ここで、 $Cf$  は一次線束に対する 空気カーマ→皮膚組織吸収線量変換係数 であり、一次線 X 線スペクトルに基づき算出する。(従来の“実効エネルギー”という単一エネルギーに対する変換係数は、有意な誤差を生じることがある。(文献 2 ))

以上に述べたように、BSF は同じ一次 X 線束, 同じ被射体であっても元データの作成過程において計測する“線量”の種類によって値は異なって来る。したがって、最終的な目的に対応できる BSF データを用いる必要がある。

文献

- (1) 加藤秀起. 微分後方散乱係数を用いた診断X線の後方散乱係数算出法. 日本放射線技術学会雑誌 2001; 57(12): 1503-1510.
- (2) 加藤秀起, 林 直樹, 鈴木昇一, 他. 診断領域X線の線質表現法として用いられる実効エネルギーの問題点. 日本放射線技術学会雑誌 2011; 67(10): 1320-1326.

2023-11-22